



# **Impactos em Métricas de Risco ao se Utilizar Diferentes Fontes de Dados de Confiabilidade**

Enrique López Droguett

Professor Associado

Departamento de Engenharia de Produção

Universidade Federal de Pernambuco

- Item 7.5 – Estimativas de Frequências

*Nos casos em que os efeitos físicos extrapolam os limites do empreendimento e podem afetar pessoas, o risco do empreendimento deve ser calculado; para tanto, estimar as frequências de ocorrência de hipóteses e de cenários acidentais*

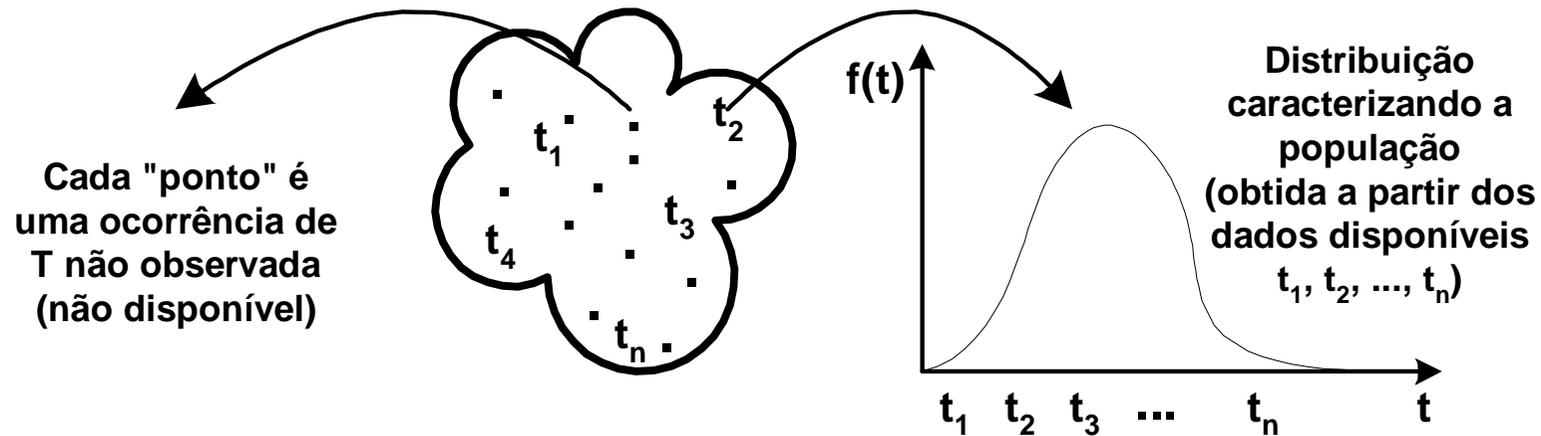
# CETESB NORMA TÉCNICA P4.261, 2ª EDIÇÃO

- “Ao se utilizar a Análise por Árvores de Falhas (AAF) para a estimativa do evento inicial, adotar API (2008) e/ou RIVM (2009) para fonte de taxas de falhas”
- “Outras referências bibliográficas podem ser adotadas na ausência de dados nas referências mencionadas, no entanto devem ser devidamente justificadas”
- “Alternativamente, banco de dados de falhas próprio do empreendimento em estudo pode ser utilizado, sendo que o método de coleta de dados e a estimativa das taxas de falha devem ser apresentados para avaliação”

# Questionamentos

- Incerteza?
- Dados Homogêneos *versus* Dados Não-Homogêneos:
  - Dados parcialmente relevantes?
  - Condições operacionais e de manutenção idênticas?
  - Taxas de falha constantes?
  - Política de manutenção? Preventivas? PHM?

# Populações Homogêneas



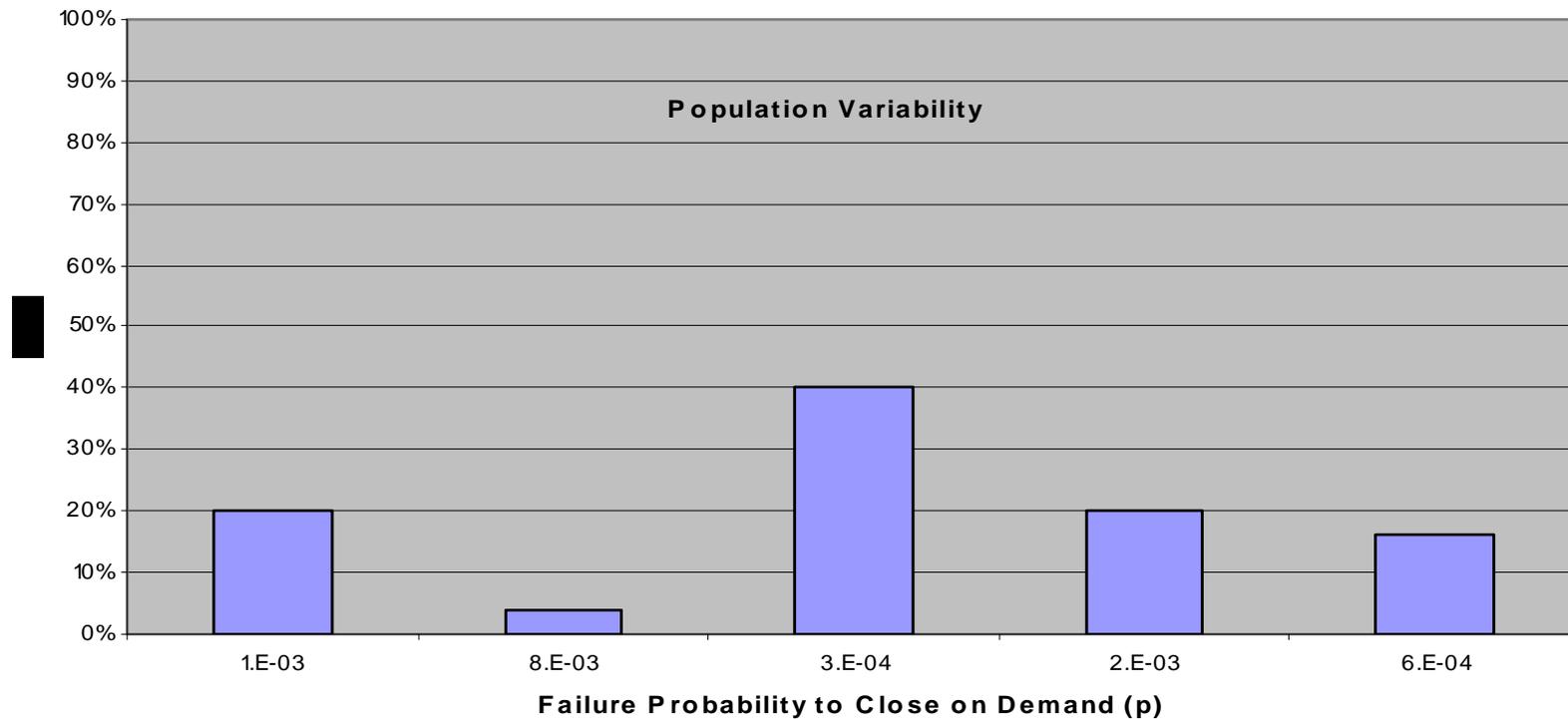
Item	Falha ( $k_i$ )	Tempo até Falhar ( $T_i$ )
1	1	100
2	3	150
3	2	200

$$\text{Número Total de Falhas} = \sum_i k_i = 6$$

$$\text{Tempo Total} = \sum_i T_i = 450 \text{ dias}$$

# Populações Não-Homogêneas

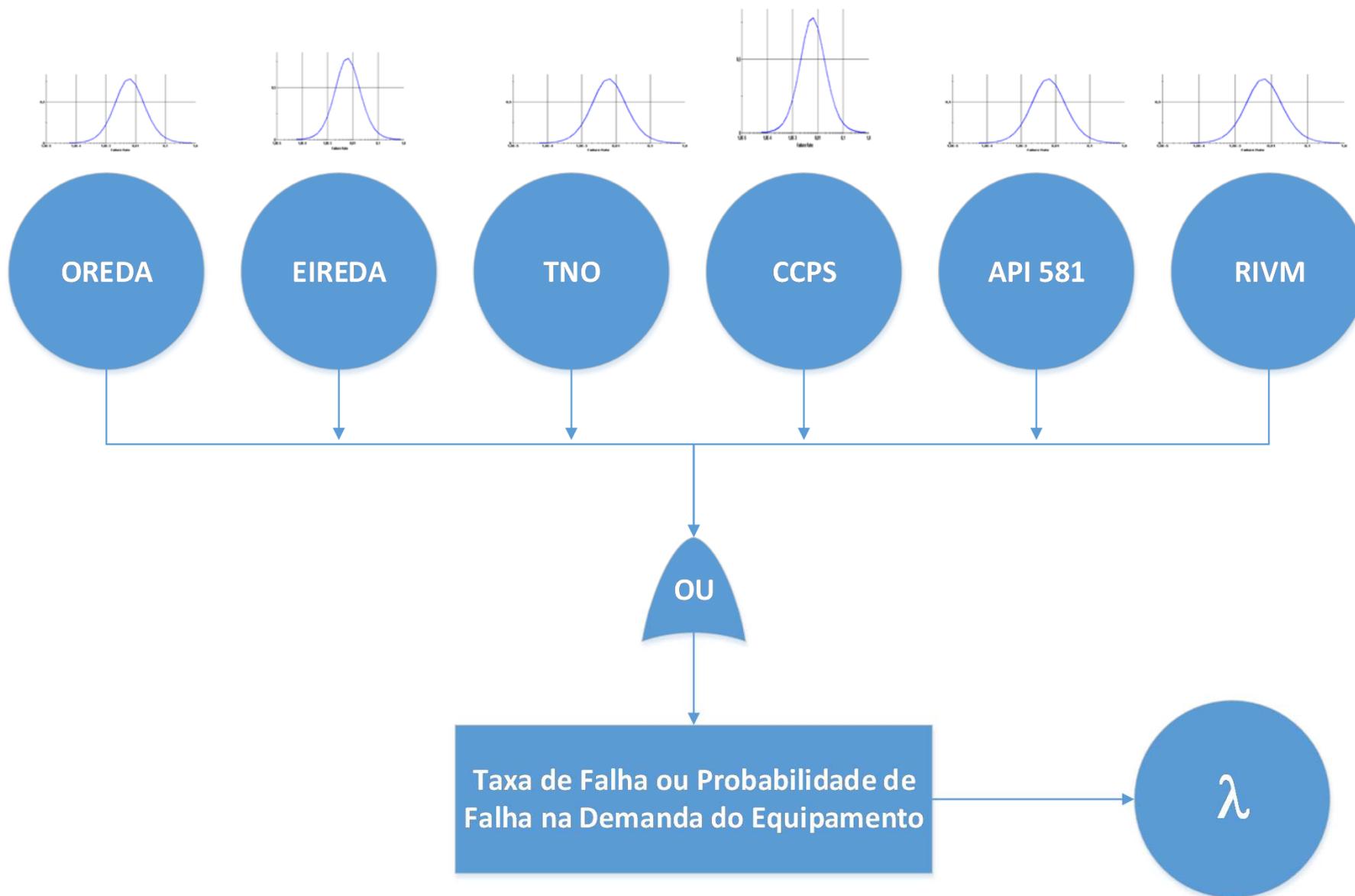
Sample	Fraction of shutoff valves in the sample [%] $P(p)$	Probability of failure to close on demand $P_i$
1	20	1e-3
2	4	8e-3
3	40	3e-4
4	20	2e-3
5	16	6e-4



# Práticas Atuais

- Tratar dados genéricos (não-homogêneos) como totalmente relevantes ao problema em estudo
  - Tratados como populações homogêneas
- Incertezas não são caracterizadas e quantificadas
- Taxas de Falhas consideradas constantes

# Prática Usual

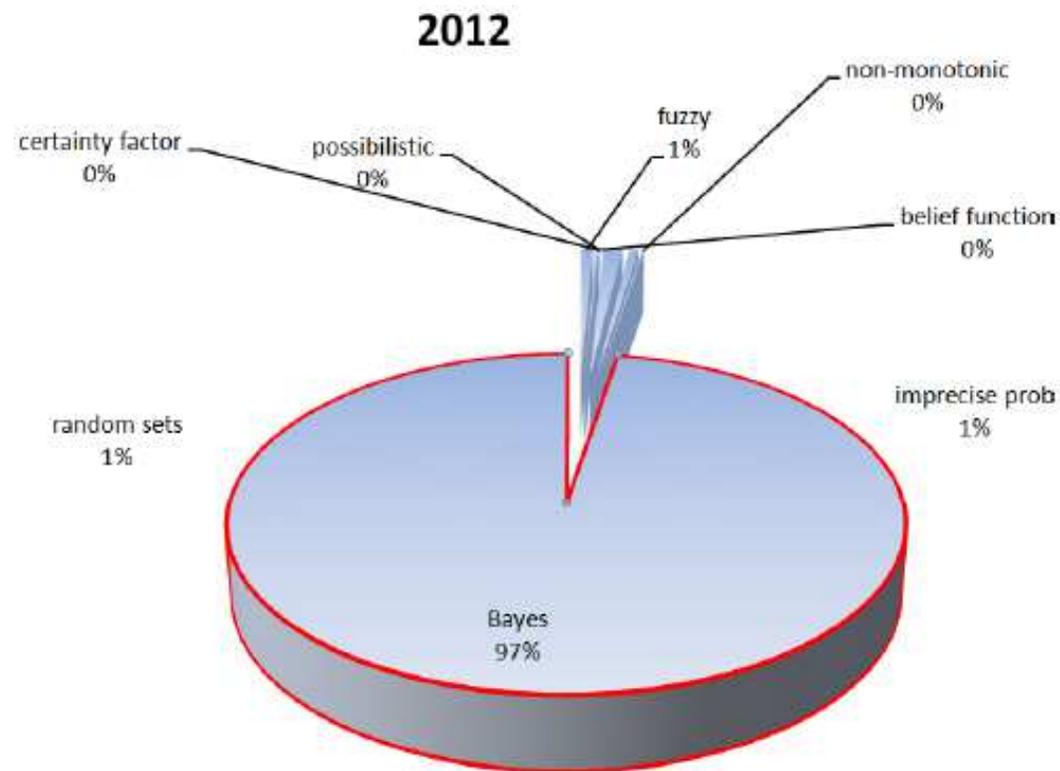


# Incerteza

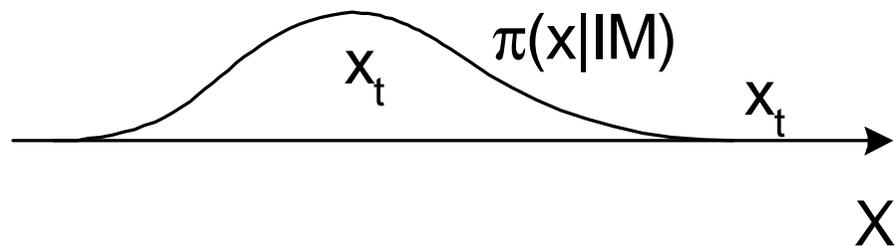
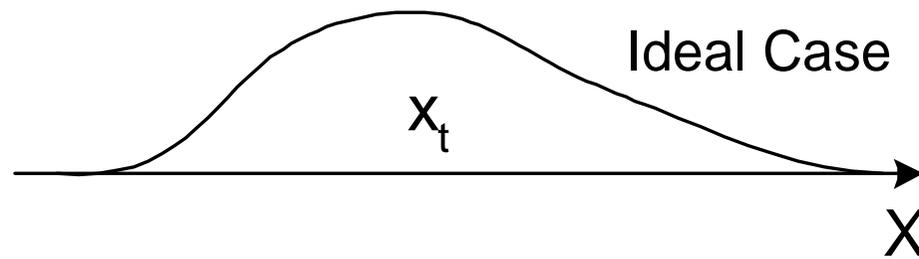
- Incerteza é Knightian
  - Frank Knight, Risk, Uncertainty and Profit, 1921
- *Incerteza* envolve *conhecimento parcial* para o qual a concepção de uma probabilidade objetivamente mensurável é simplesmente inaplicável

# Representação da Incerteza

- Inteligência Artificial:
  - UAI Proceedings digitalizados 1985 – 2012

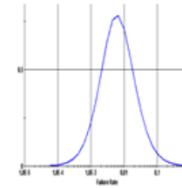
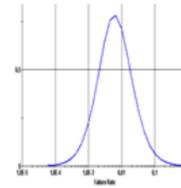
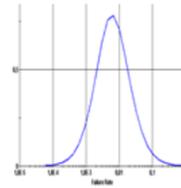
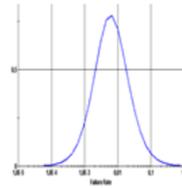
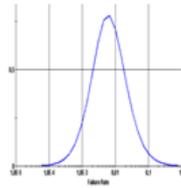
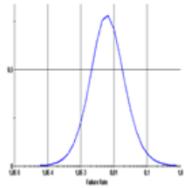


# Devemos Quantificar a Incerteza



Droguett & Mosleh, Risk Analysis, 2014

# Homogeneidade



OREDA

EIREDA

TNO

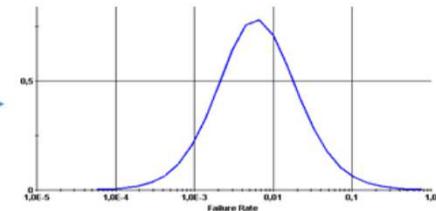
CCPS

API 581

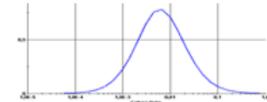
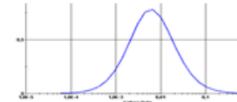
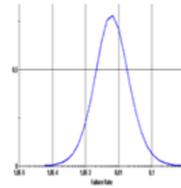
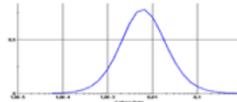
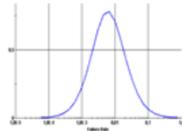
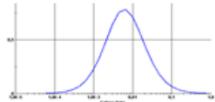
RIVM



Taxa de Falha ou Probabilidade de Falha na Demanda do Equipamento



# Não-Homogeneidade



OREDA

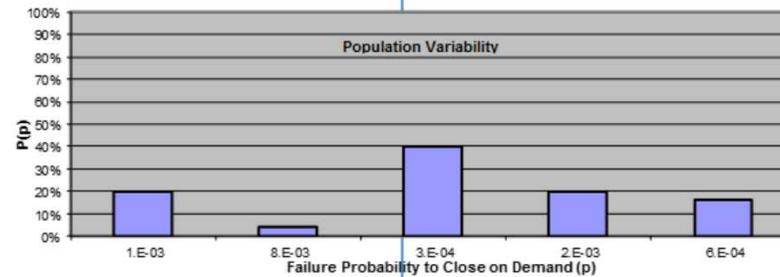
EIREDA

TNO

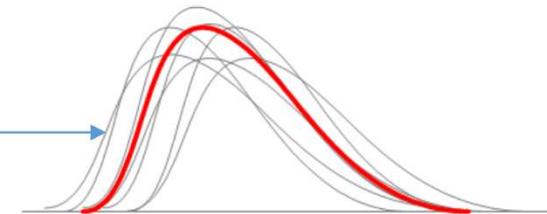
CCPS

API 581

RIVM



Taxa de Falha ou Probabilidade de Falha na Demanda do Equipamento

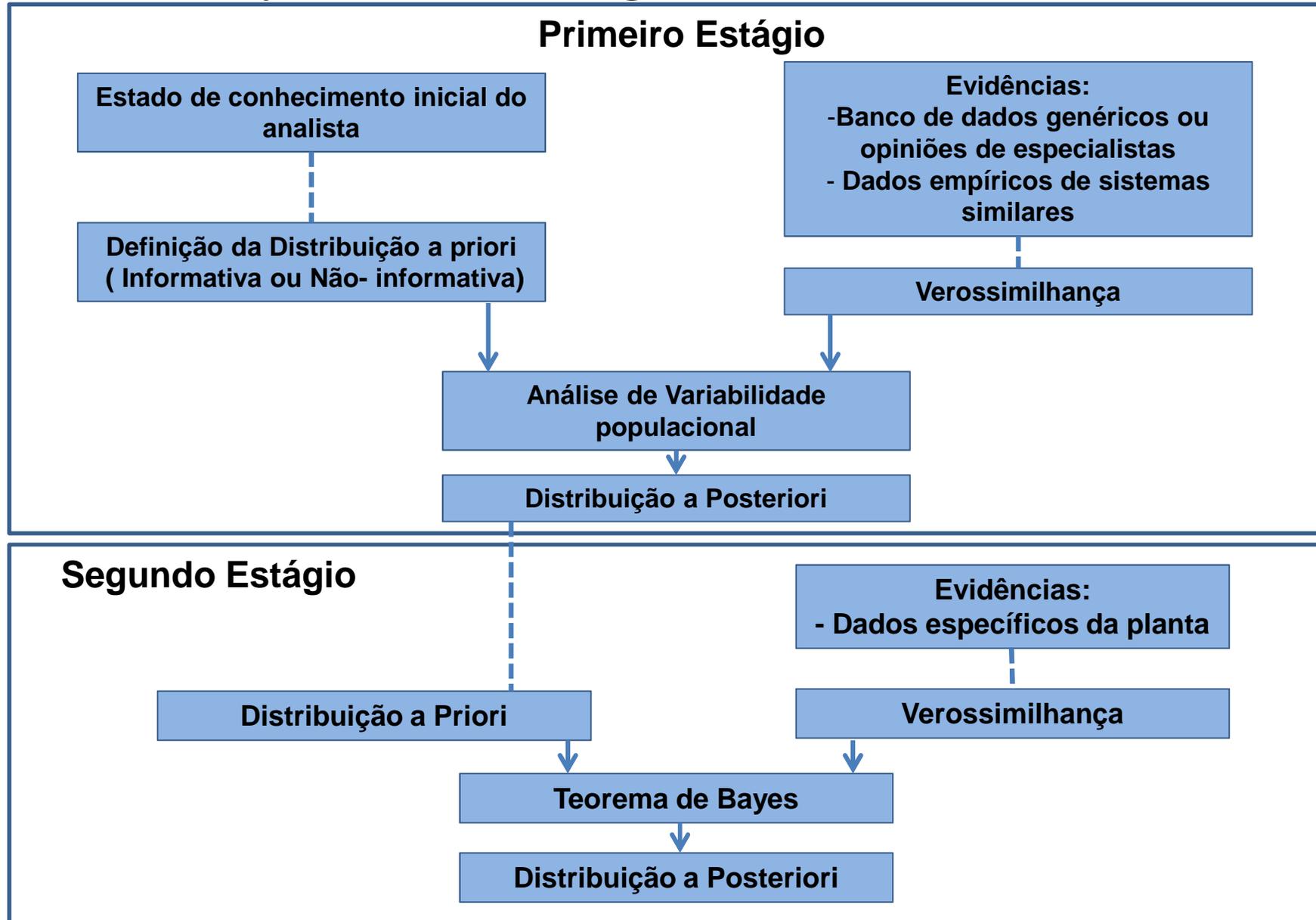


# Objetivos

- Apresentar metodologia para a estimativa de taxas de falha a partir de bancos de dados genéricos
- Atualizar taxas de falha a partir de dados de falha dos equipamentos em estudo
- Quantificar incertezas associadas
- Investigar o impacto do uso de dados não-homogêneos como homogêneos nas:
  - Estimativas de taxas de falha
  - Incertezas
  - Métricas de risco

# Metodologia

- **Análise Bayesiana em Dois Estágios**



# Bayes

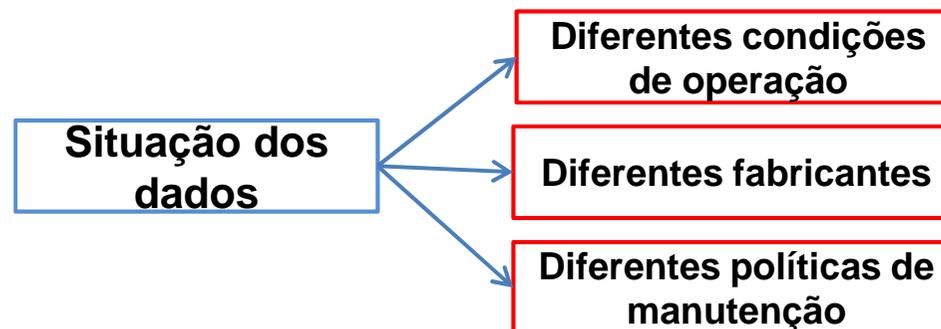
- Para taxas de falha:

$$P(\lambda|E) = \frac{P(E|\lambda)P(\lambda)}{\int P(E|\lambda)P(\lambda)d\lambda}$$

A partir de evidências E do sistema específico

A partir de dados genéricos

- Aplicação clássica do teorema de Bayes → Populações homogêneas



**DESPROPÓSITO: Tratar dados coletados em diversas fontes, como constituintes de uma população homogênea!**

**SOLUÇÃO: Análise Bayesiana em Dois Estágios**

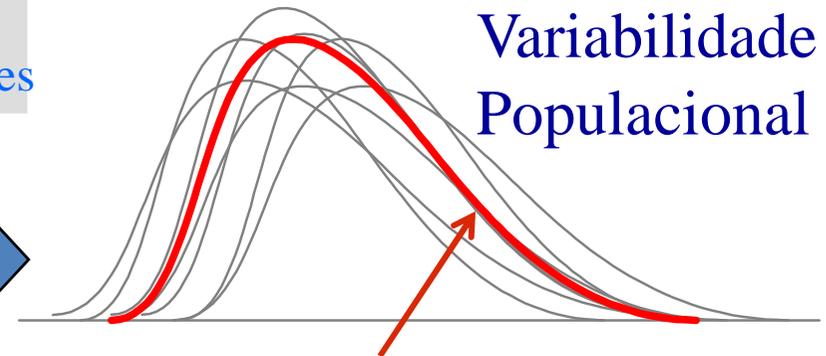
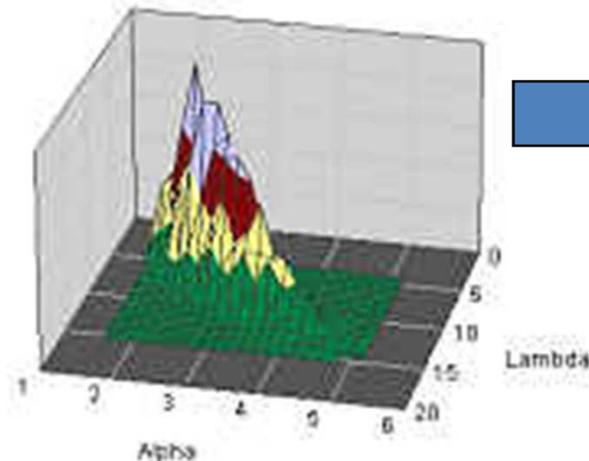
# Bayes – Dois Estágios

Data source	System type	Estimate	Assigned range factor	Number of failures	Operating time (h)
<i>Estimates</i>					
Source 1	Pump	$3.0 \times 10^{-5}$	5		
Source 2	Alternating pump	$2.1 \times 10^{-5}$	3		
Source 3	Motor-driven pump	$2.0 \times 10^{-5}$	10		
Source 4	Cooling systems pumps	$2.53 \times 10^{-5}$	10		
<i>Plant data</i>					
Plant 1	Centrifugal charging pump			0	$7.60 \times 10^4$
Plant 2	Service water pump			0	$1.52 \times 10^5$
Plant 3	Component cooling pump			0	$7.40 \times 10^4$
Plant 4	Service water pump			2	$7.40 \times 10^4$
Plant 5	Component cooling pump			0	$4.80 \times 10^4$
Plant 6	Service water pump			3	$7.60 \times 10^4$
Plant 7	RHRWS/EECW pump			9	$1.02 \times 10^4$
Plant 8	Service water pump			2	$4.80 \times 10^4$

$$\pi(\mu, \sigma | E) = \frac{L(E | \mu, \sigma) \pi_o(\mu, \sigma)}{\int_{\mu} \int_{\sigma} L(E | \mu, \sigma) \pi_o(\mu, \sigma) d\mu d\sigma}$$

$E = \{k_i, T_i\} \quad i = 1, \dots, N$

Teorema de Bayes



$$\bar{\phi}(\lambda) = \int \int \phi(\lambda | \mu, \sigma) \pi(\mu, \sigma | E) d\mu d\sigma$$

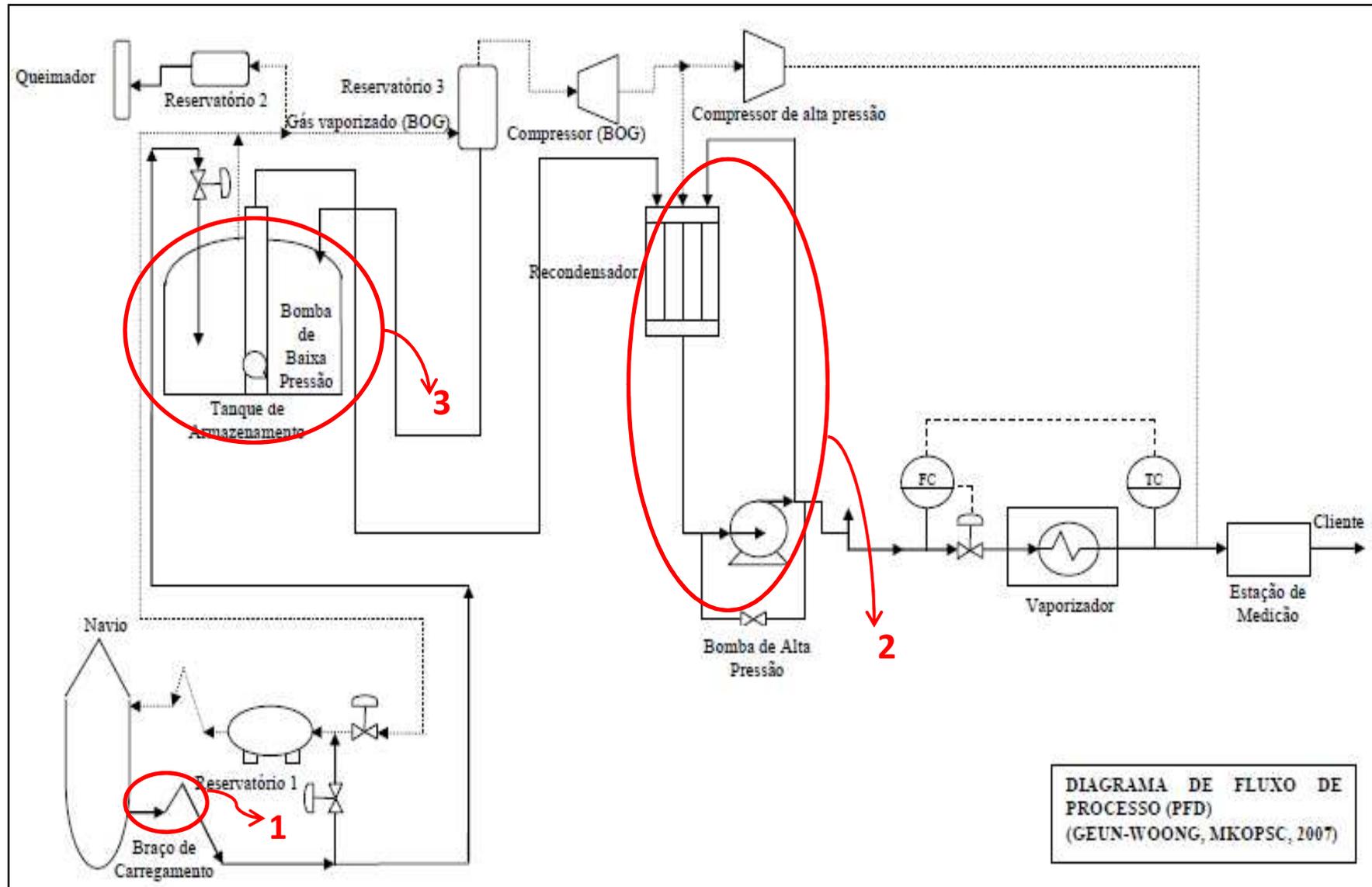
Distribuição Esperada da Taxa de Falha

# Possíveis Combinações de Evidências

Priori/Dados	$(k_j, T_j)$	$(\lambda_j, \sigma_j)$	$(k_j, D_j)$
<b>Gamma</b>	Gamma-Poisson-LogNormal		
<b>LogNormal</b>	LogNormal-Poisson-LogNormal		
		LogNormal-Binomial-LogNormal	
<b>Beta</b>		Beta-Binomial-LogNormal	

# Exemplificando

- Resultado HAZOP: Nós-de-estudo



# Cenários

Cenário nº	Cenário	
1	Vazamento de GNL no braço de carregamento durante o descarregamento	Nó 1
2	Aumento da pressão no braço de descarregamento devido a falha no fechamento da BV-1 durante o descarregamento	
3	Cavitação e danos a bomba de alta pressão devido a baixa pressão do recondensador resultante da falha no fechamento da BV-32. Vazamento e incêndio	Nó 2
4	A temperatura mais alta no recondensador devido à entrada de mais gás resultante da FCV-33	
5	Sobrepresão no tanque devido a sobreposição resultante da estratificação e possíveis danos no tanque	Nó 3
6	Aumenta e conduz o nível de GNL para transitar em espaço anular de GNL devido a erro do operador	
7	Subpressão no tanque devido a bomba externa sem entrada de gás vaporizado resultante da falha durante o fechamento da BV-25. Possíveis danos no tanque.	

# Cenário 1

- Evento Iniciador:
  - Braço de descarregamento de Gás Natural Liquefeito
- IPLs:
  - Falha do detector de gás
  - Detector de incêndio
  - Falha da ESV

ELD1

## Slide 23

---

### ELD1

Braço de carregamento:

Comprimento = 20 m

Diâmetro = 400 mm = 15 3/4 inches

Pressão = 5.5 bar (abs)

Temp = -161.6 C

LII:

Alcance dia = 900 m

Alcance noite = 2650 m

Enrique López Droguett; 16/05/2014

# Dados

## Cenário 1 – Evento iniciador 01

**Tabela 4.7: Dados utilizados como evidências para o cálculo da frequência de falha do EI01**

Banco de Dados	Média ( $\mu$ )	Nº de Falhas (ano <sup>-1</sup> )	Tempo de Operação (ano)	Fator de Erro (EF)
ELD2 OREDA (p. 821)	3,8X10 <sup>-2</sup>	-		5
LNG	-	5	133,79	-

$E_2 \rightarrow (\lambda_i, \sigma_i)$ 
 $E_1 \rightarrow (k_i, T_i)$

Modelo de verossimilhança: Lognormal-Poisson-Lognormal

## IPL – ESV

**Tabela 4.21: Dados utilizados como evidências para o cálculo da PFD da IPL- ESV**

Banco de Dados	Média ( $\mu$ )	Nº de Falhas (ano <sup>-1</sup> )	Demanda (ano)	Fator de Erro (EF)
EIReDA (p.127)	1,16 X10 <sup>-3</sup>	-		5
LNG	-	24	17466,67	-

$E_2 \rightarrow (\lambda_i, \sigma_i)$ 
 $E_1 \rightarrow (k_i, D_i)$

Modelo de verossimilhança: Beta- Binomial- Lognormal

**Slide 24**

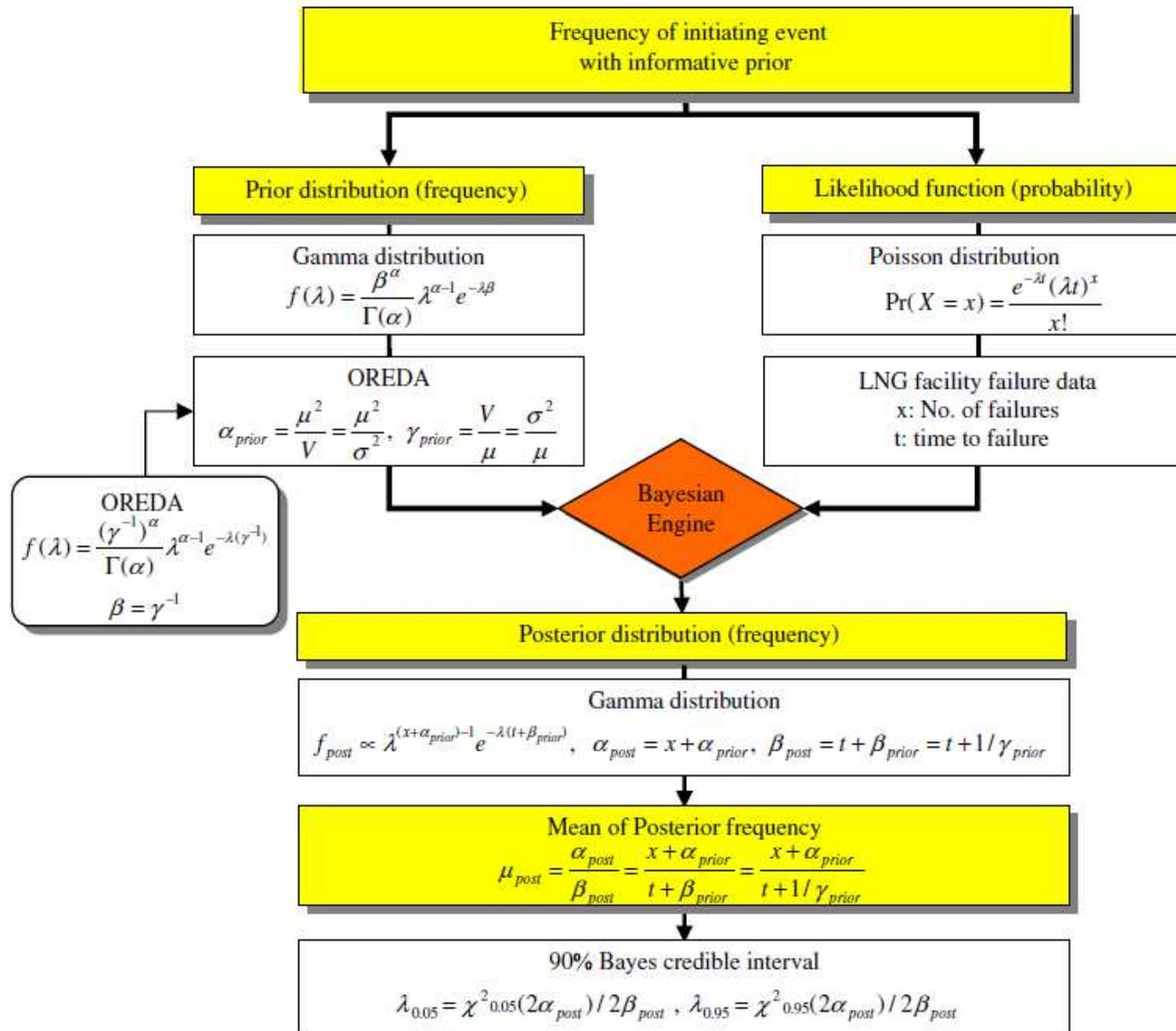
---

**ELD2**

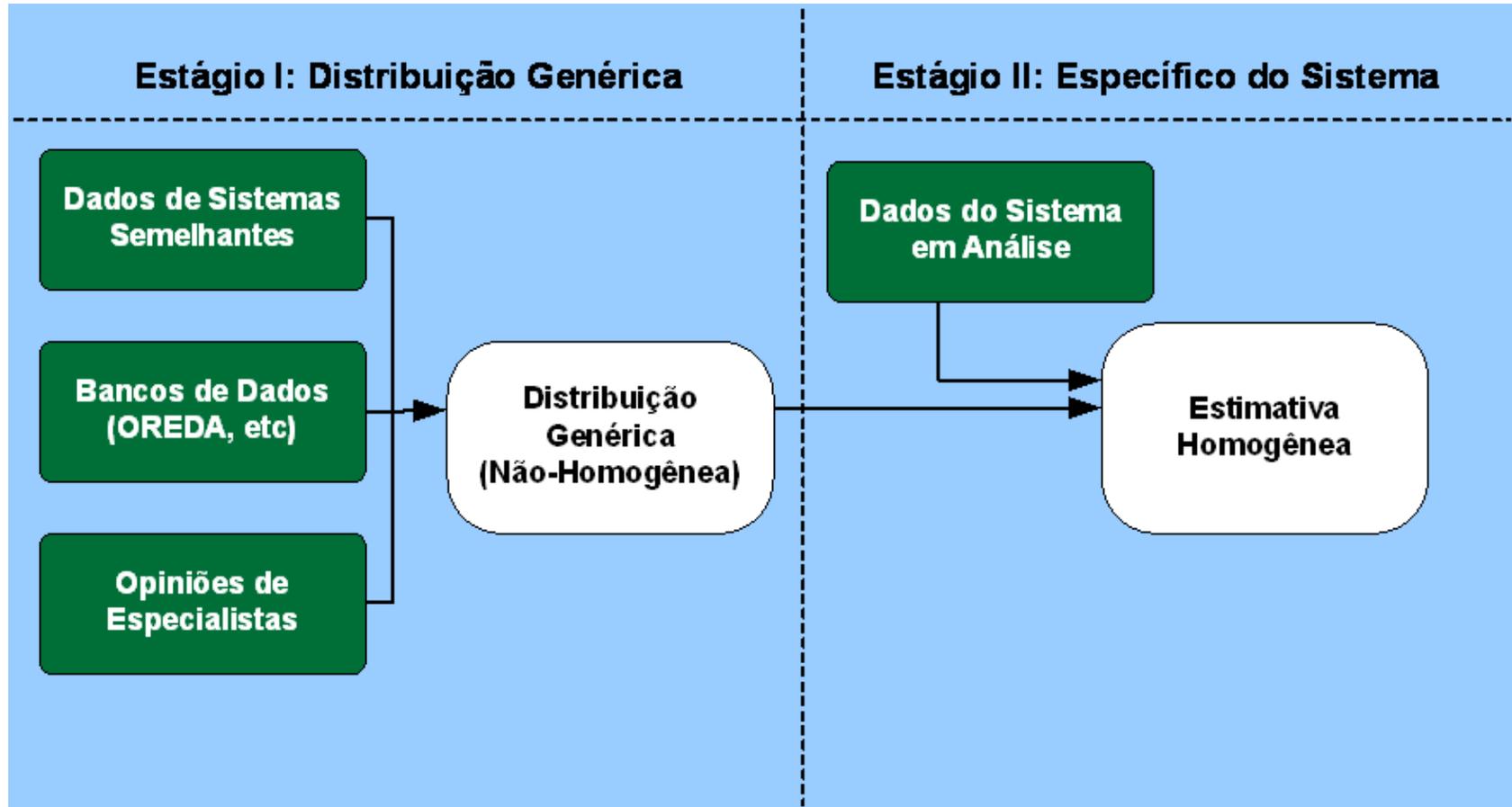
**OREDA: Flowline (p. 821)**

Enrique López Droguett; 16/05/2014

# Yun et al., Journal of Loss Prevention in the Process Industries (2009)

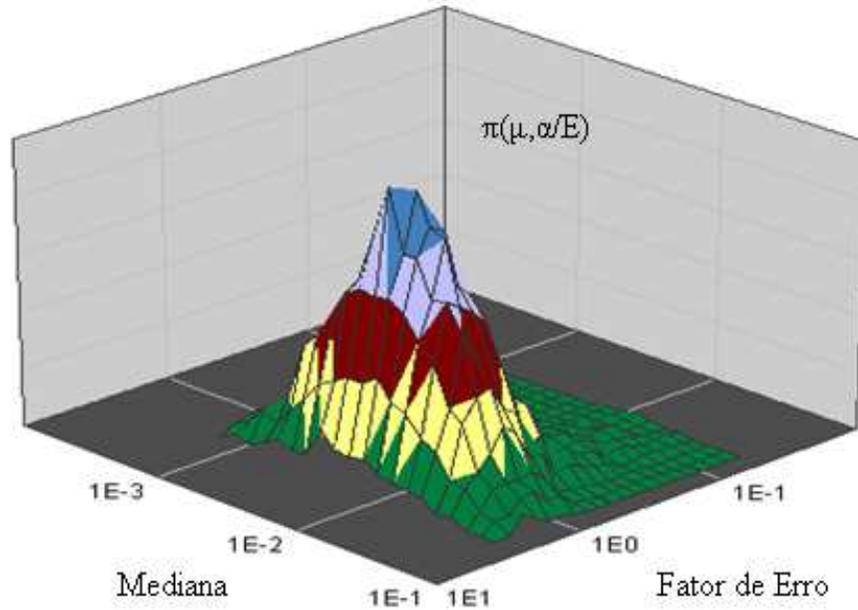


# Porém...

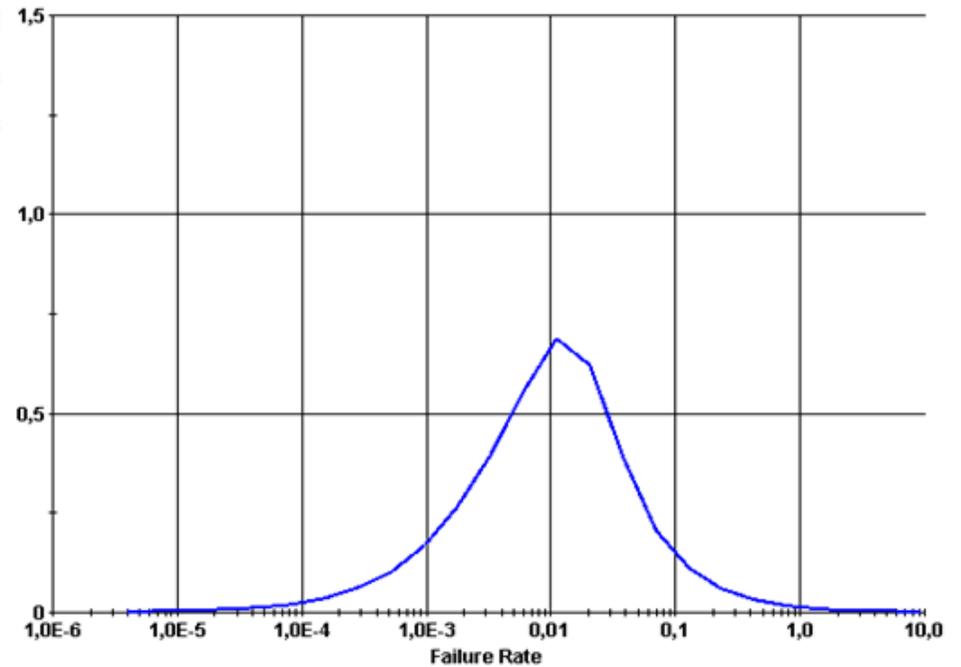


Droguett & Mosleh, Reliability Engineering & Systems Safety, 2004

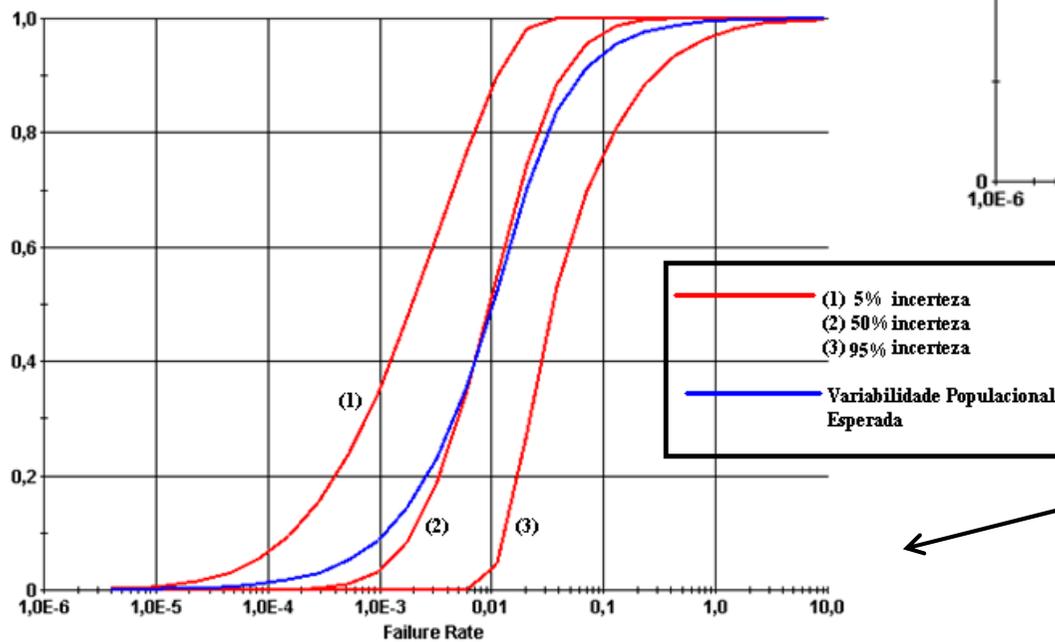
# Resultados



Distribuição conjunta dos parâmetros de variabilidade populacional



Função densidade da variabilidade populacional

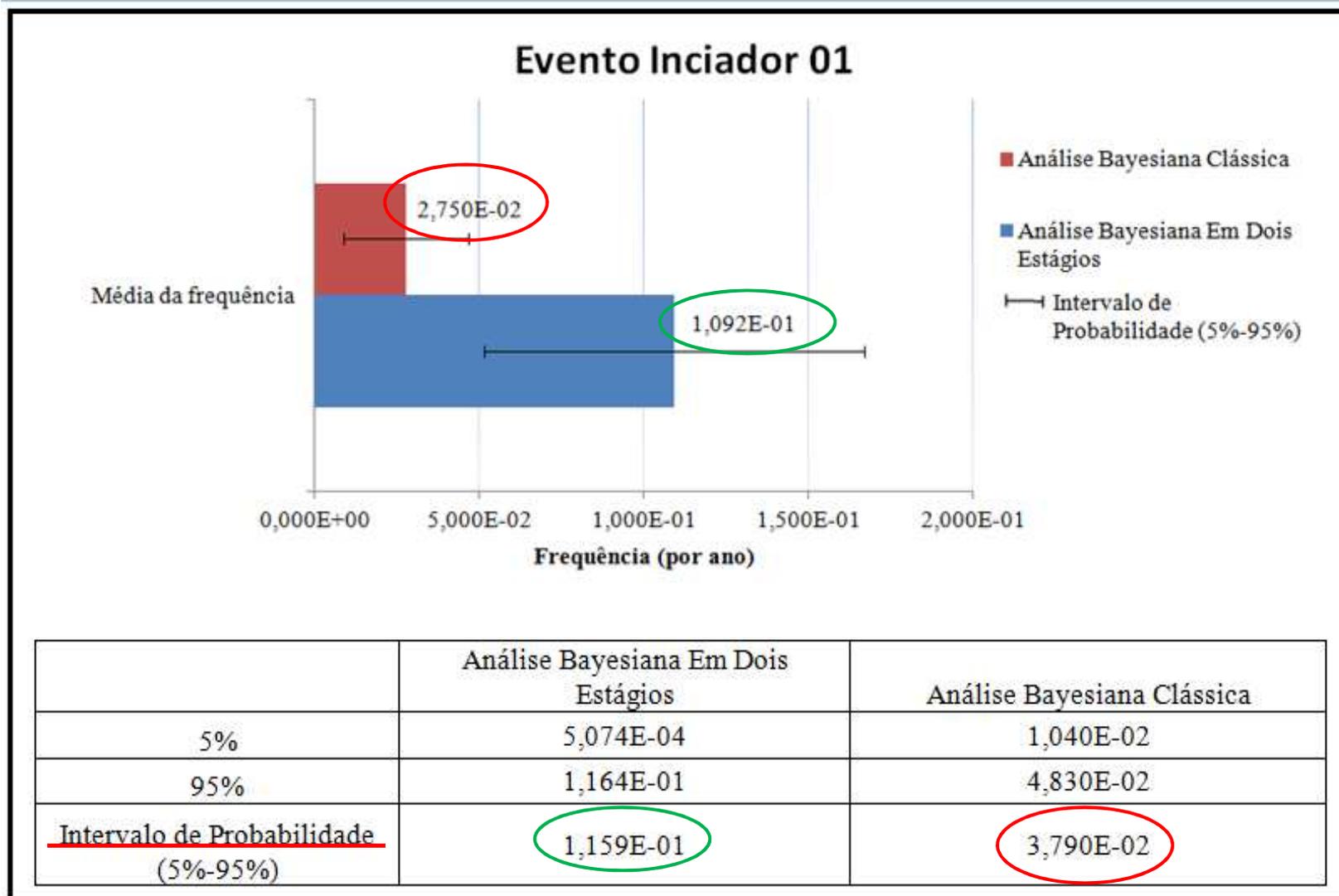


Distribuição acumulada esperada da variabilidade populacional

$$\hat{\mu}_x = 0,1092$$

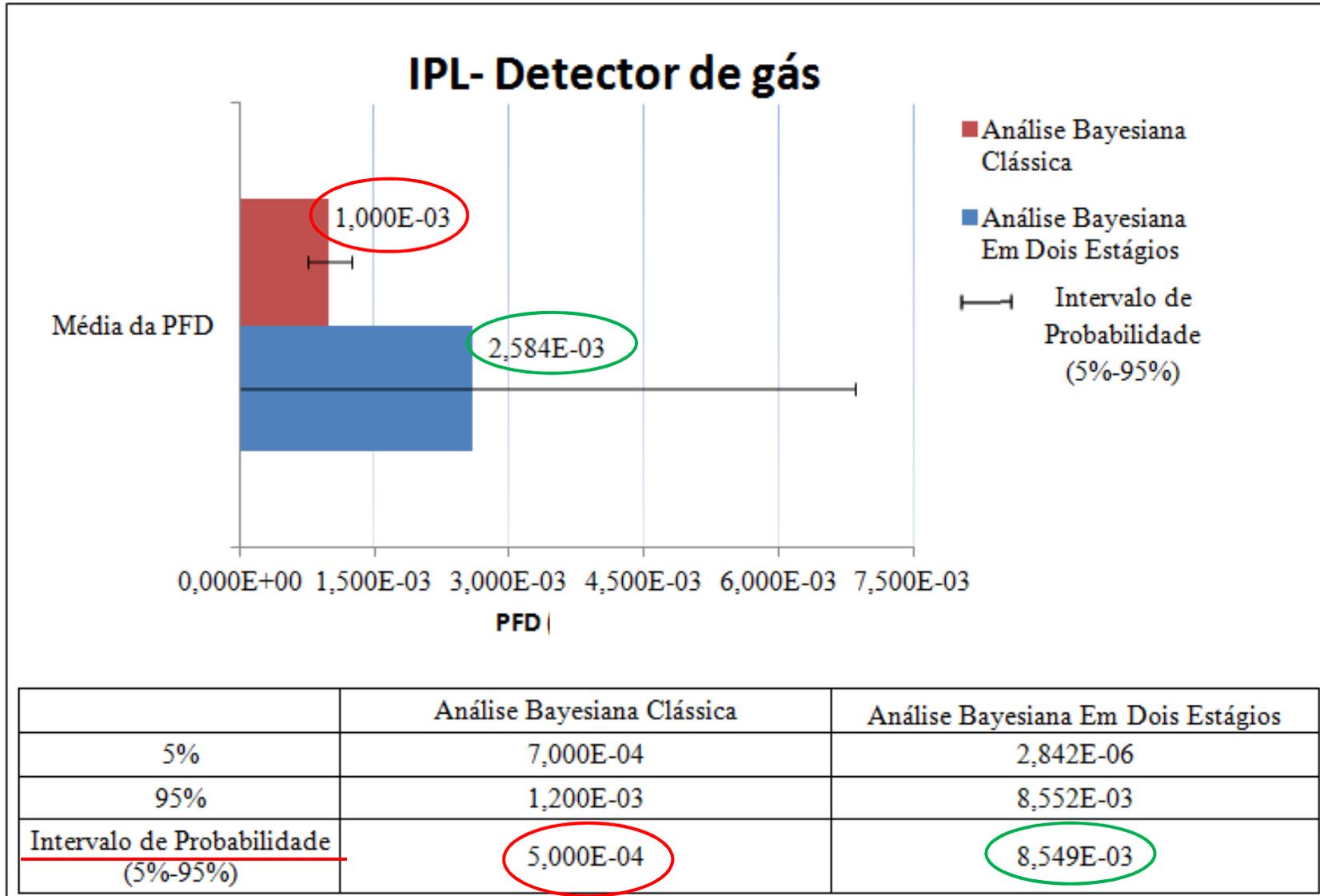
# Resultados

## Cenário 1- Análise Bayesiana x Análise Bayesiana em Dois Estágios



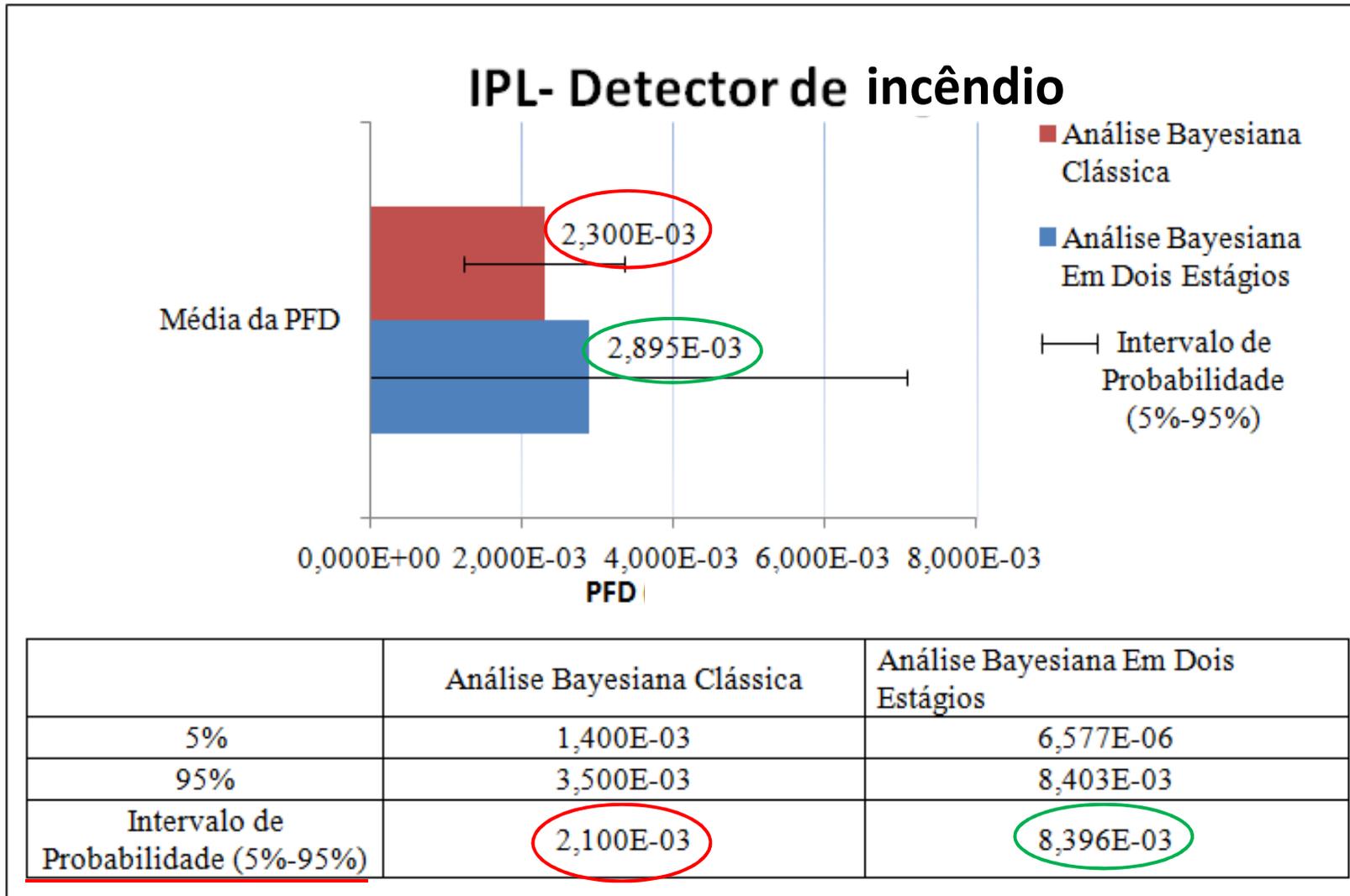
# Resultados

## Cenário 1- Análise Bayesiana x Análise Bayesiana em Dois Estágios



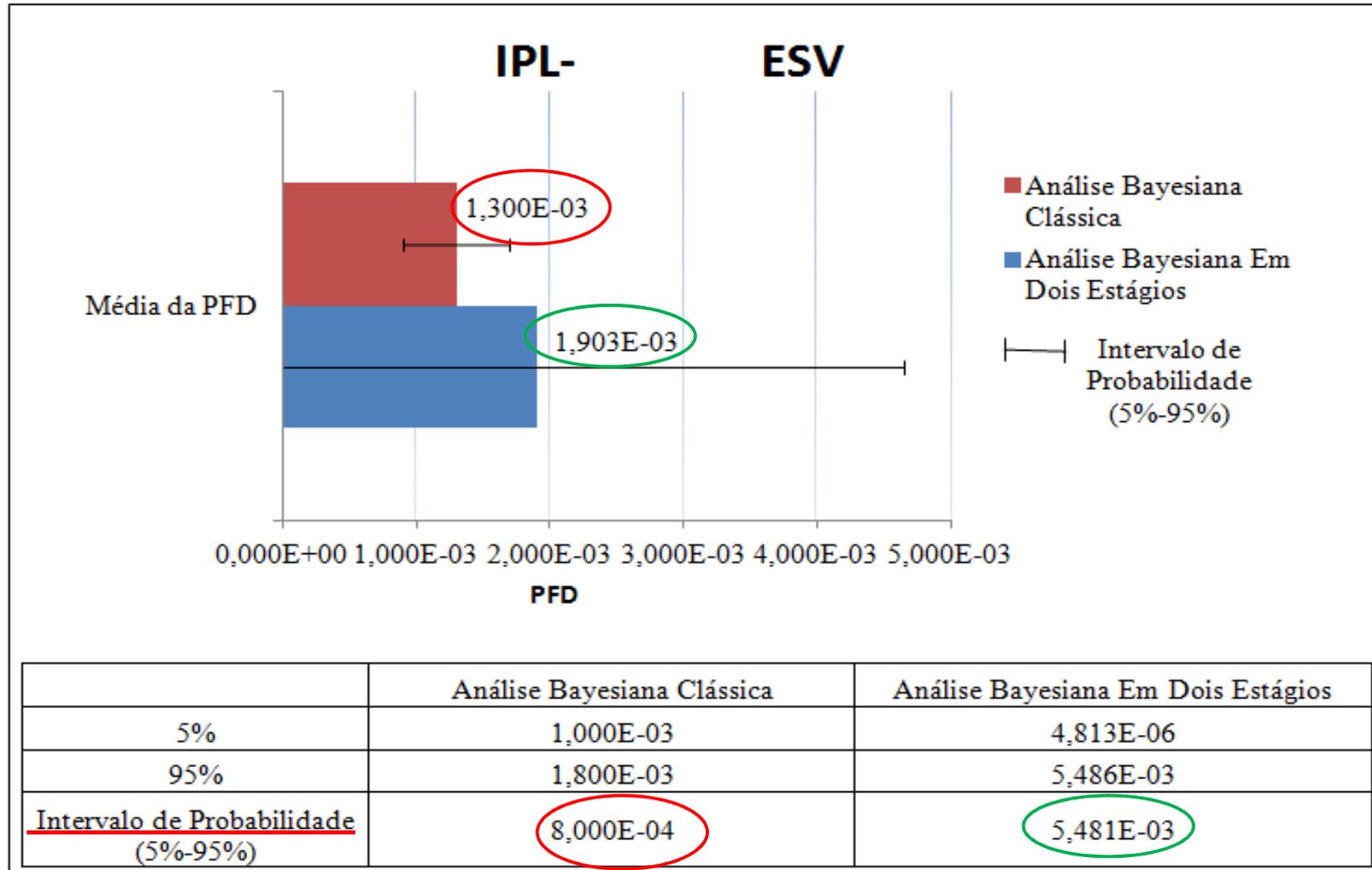
# Resultados

## Cenário 1- Análise Bayesiana x Análise Bayesiana em Dois Estágios



# Resultados

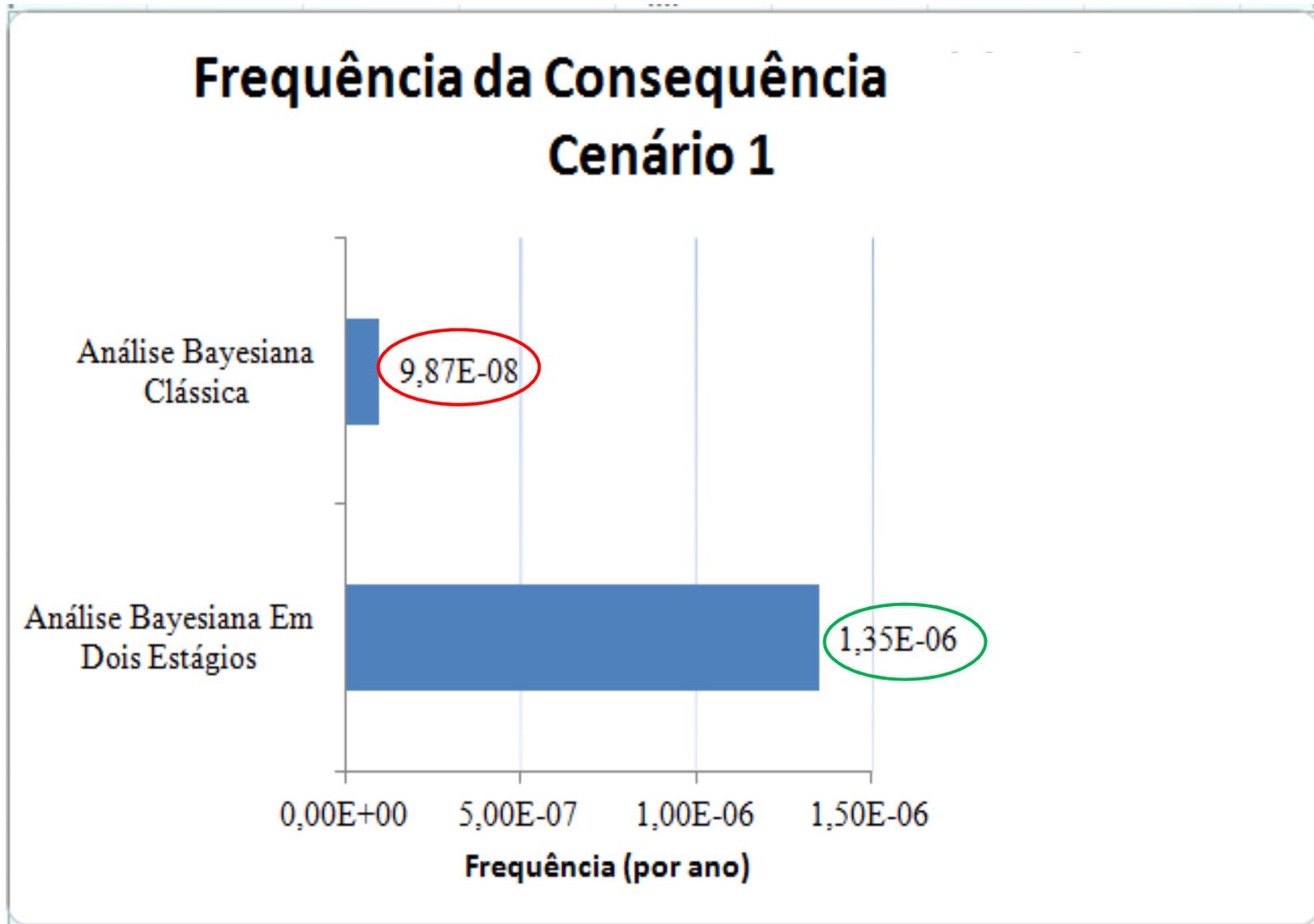
## Cenário 1- Análise Bayesiana x Análise Bayesiana em Dois Estágios



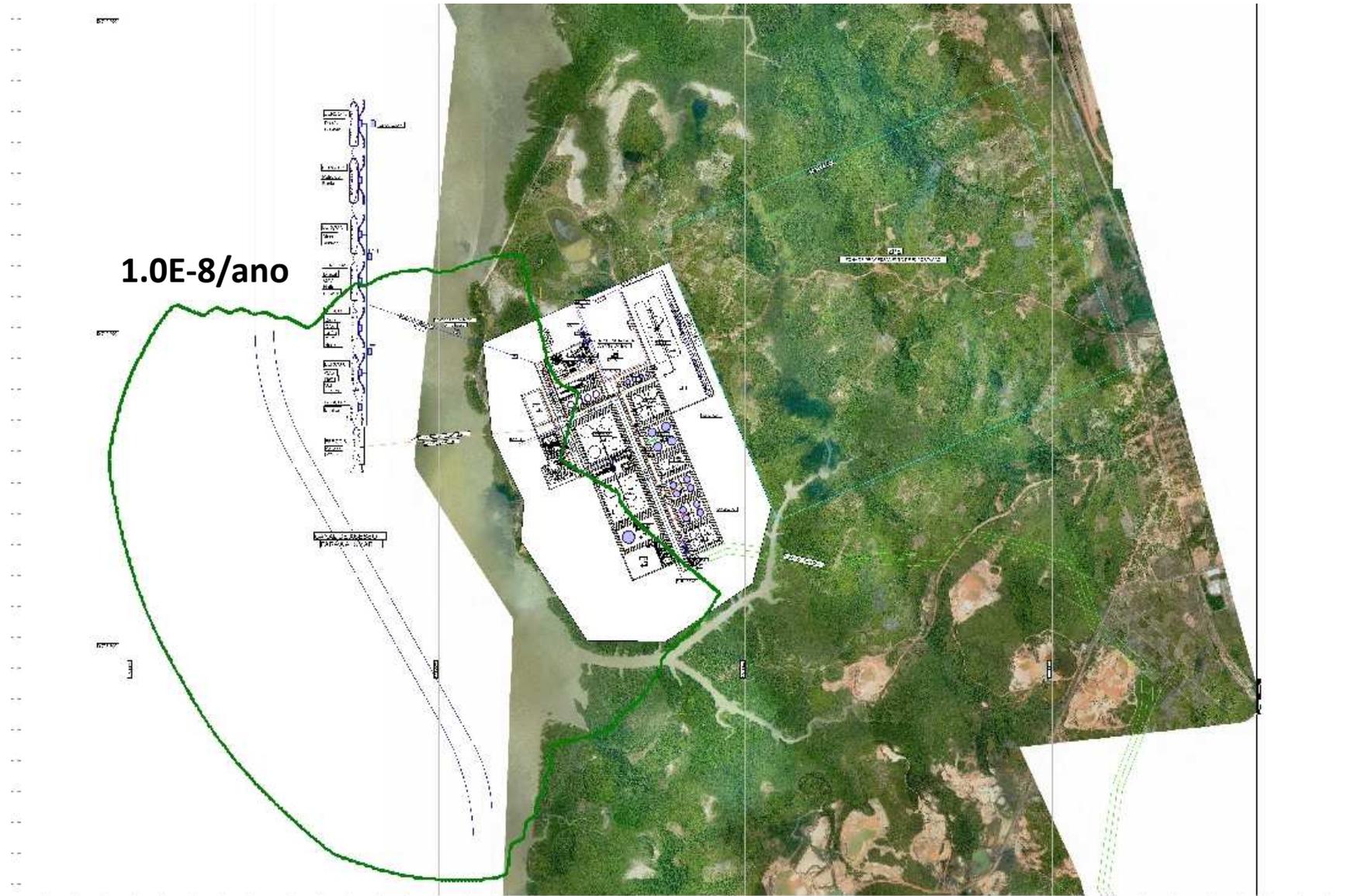
	Análise Bayesiana Clássica	Análise Bayesiana Em Dois Estágios
5%	1,000E-03	4,813E-06
95%	1,800E-03	5,486E-03
<u>Intervalo de Probabilidade (5%-95%)</u>	8,000E-04	5,481E-03

# Resultados

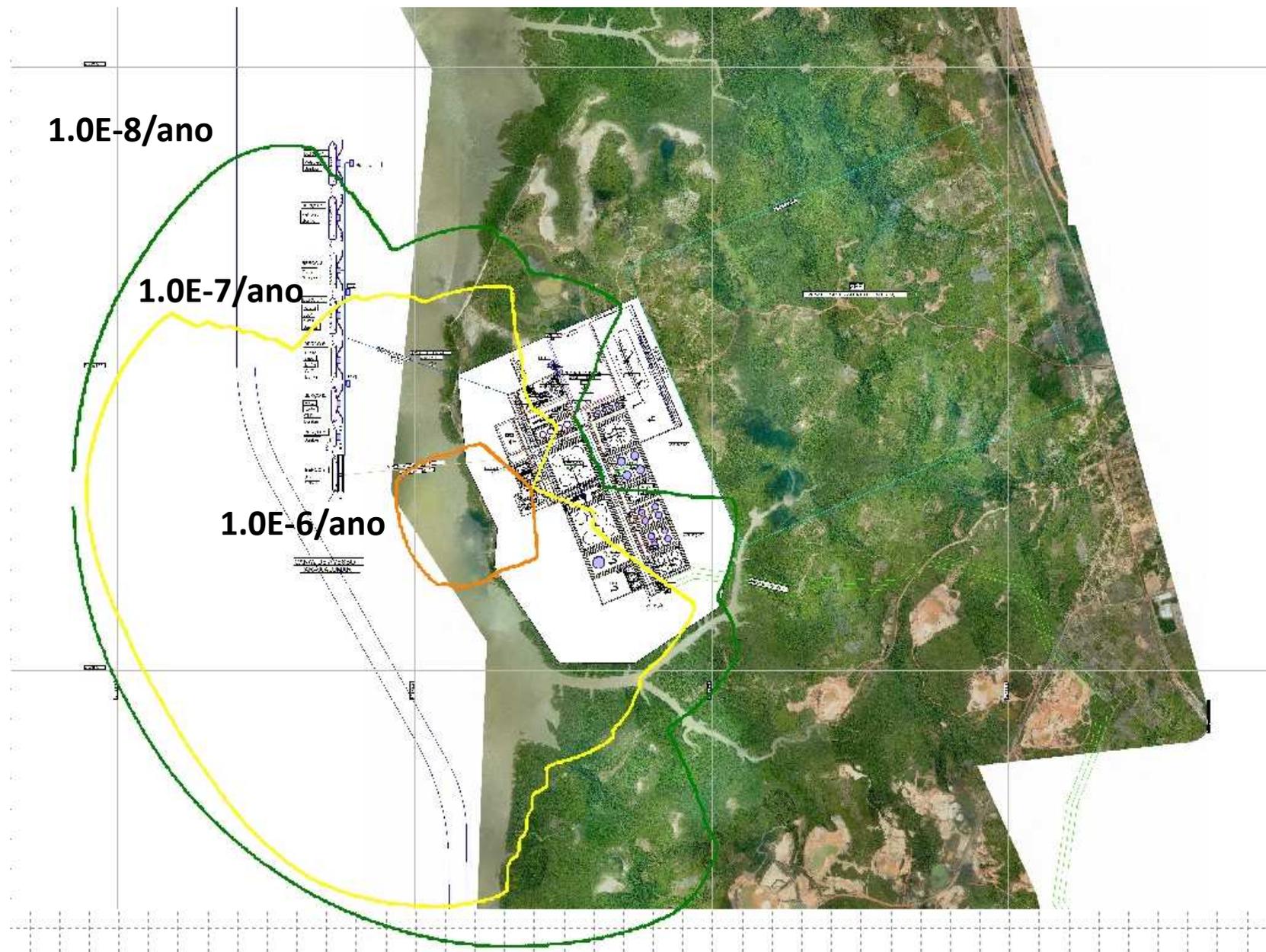
## Cenário 1- Análise Bayesiana x Análise Bayesiana em Dois Estágios



# Risco Individual: Homogêneo



# Risco Individual: Não-Homogêneo



# Conclusões

- Sistemática subestimação das taxas e frequências de falha
- Sistemática subestimação da incerteza
- Subestimação de métricas de risco (e.g., risco individual)

# Conclusões

- Desenvolver um banco de dados de confiabilidade para a indústria de petróleo & gás
- Estimar métricas de confiabilidade a partir de diversas fontes de dados:
  - Taxas e frequências de falha de equipamentos semelhantes
  - Dados empíricos de equipamentos semelhantes
  - Opiniões de especialistas
  - Dados de falha dos equipamentos em análise
- Quantificação das incertezas
- Metodologia apresentada adequada para atender tais necessidades



1) Software de **Coleta** de Dados



2) Software de **Análise** de Dados

